한국농림기상학회지, 제15권 제4호(2013) (pISSN 1229-5671, eISSN 2288-1859)
Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 15, No. 4, (2013), pp. 320~331
DOI: 10.5532/KJAFM.2013.15.4.320
ⓒ Author(s) 2013. CC Attribution 3.0 License.

강 좌

농가맞춤형 기상서비스 시범사업

윤진일[1]* · 김수옥[2] · 김진희[2] · 김대준[1,2]
[1]경희대학교 식물환경신소재공학과, [2](재)국가농림기상센터
(2013년 12월 16일 접수; 2013년 12월 23일 수정; 2013년 12월 23일 수락)

User-specific Agrometeorological Service to Local Farming Community: A Case Study

Jin I. Yun[1]*, Soo-Ock Kim[2], Jin-Hee Kim[2] and Dae-jun Kim[1,2]
[1]College of Life Sciences, Kyung Hee University, Yongin 446-701, Korea
[2]Korean Society of Agricultural and Forest Meteorology, Yongin 446-701, Korea
(Received December 16, 2013; Revised December 23, 2013; Accepted December 23, 2013)

ABSTRACT

The National Center for AgroMeteorology (NCAM) has designed a risk management solution for individual farms threatened by the climate change and variability. The new service produces weather risk indices tailored to the crop species and phenology by using site-specific weather forecasts and analysis derived from digital products of the Korea Meteorological Administration (KMA). If the risk is high enough to cause any damage to the crops, agrometeorological warnings or watches are delivered to the growers' cellular phones with relevant countermeasures to help protect their crops against the potential damage. Core techniques such as scaling down of weather data to individual farm level and the crop specific risk assessment for operational service were developed and integrated into a cloud based service system. The system was employed and implemented in a rural catchment of 50 km^2 with diverse agricultural activities and 230 volunteer farmers are participating in this project to get the user-specific weather information from and to feed their evaluations back to NCAM. The experience obtained through this project will be useful in planning and developing the nation-wide early warning service in agricultural sector exposed to the climate and weather extremes under climate change and climate variability.

***Key words*: Early warning service, Climate variability, Agrometeorology, Climate-smart agriculture**

I. 사업개요

지금 진행 중인 기후변화의 양상은 기온, 강수량의 평균값 변화는 물론, 연차변이와 극기상 빈도의 증가로 요약되며, 농가 입장에서는 장기간에 걸친 평균값의 증가보다는 기상이변과 극기상이 더욱 위협적이다(기상청, 2012; 2013). 기상이변이란 평년기후의 정상적인 변동범위를 벗어나는 날씨양상이며 이것이 재배중인 작물에게 피해를 입힐 가능성은 '기상위험'으로 표현할 수 있다. 기존의 농업부문 적응대책은 대개 평균값의 증가에 초점을 맞추고 있으며, 기상위험이 가시화되거나 이미 피해가 발생했을 경우에만 다중매체를 통해 전달되는 현행의 기상정보로는 영농현장의 대응이 쉽지 않다. 실제로 기상이변 및 농작물 피해 예견 시 지금까지는 기상청에서 발표하는 주의보, 경보 등 통상적인 특보를 방송이나 인터넷을 통해 불특정

* Corresponding Author : Jin I. Yun
(jiyun@khu.ac.kr)

다수에게 전파하는 방법 외에 농업부문에 특화된 서비스는 없었다. 물론 소수의 민간사업자, 일부 지자체 등에서 위험기상 및 그 파급효과(예, 병해충 발생)에 관한 정보를 생산하기 위한 연구를 진행하였으며, 일부 성과물은 단편적이거나 부정기적으로 제공되고 있다. 하지만 이들의 기술은 정보생산을 위해 해당 전답, 과원에 반드시 기상장비를 설치해야 하거나 기상관측망의 밀도가 높은 지역에서만 가능하여 범용성이 낮고 전국으로의 확대에 어려움을 겪을 수밖에 없다.

'농가 맞춤형 기상위험관리'는 기존 기상청 관측 및 예보시스템 외에 추가적인 자원소모 없이 해당 농지에 주어진 기상조건을 재배중인 작물의 종류와 그 발육단계에 맞게 '기상위험지수'로 정량화하고, 이를 평년기준과 비교하여 재해발생 가능성을 농민에게 일대일로 전달하는 새로운 개념의 농업기상서비스이다. 이 서비스의 구현을 위해서는 먼저 해결해야 할 과제가 남아있었다. 맞춤형 기상위험관리를 위해 필요한 기상실황 및 예측정보 상세화는 기상청의 소위 '동네예보'를 실시간으로 필지규모의 초정밀정보로 변환하는 것으로서 기존 농업용 전자기후도가 불변속성인 기후평균값의 필지단위 상세화를 구현한 기술인 데 비해 개발의 전례가 없는 고난도 기술이다(Yun, 2010). 나아가 필지단위 기상실황이 주어지더라도 과연 그곳에 자라는 농작물의 피해로 진행될 것인지 여부의 판단은 재해유형과 작목(품종)별 기상위험지수의 개발에 달려있지만 이 역시 미개척분야에 속한다. 이러한 난제들은 체계적이고 장기적인 개발계획에 의해서만 해결할 수 있지만 국내 연구여건에서는 추진주체도 불명확하고 설혹 추진된다 하더라도 성과위주의 단기과제에 맡겨지는 경우가 많았다.

하지만 기후변화에 따른 기상이변의 증가추세가 이미 확인되었으며 금세기 말까지 이 추세가 심화될 것이 확실하므로(기상청, 2013), 기존의 비효율적인 농업기상서비스 체계를 획기적으로 개선함으로써 농업부문 기후변화 적응전략의 실효성 있는 지원에 때를 놓치는 우를 범해서는 안 된다. 지금이야말로 국내 농업여건(지형특성, 토지규모, 기술집약, 소량 다품종 등)과 개별 농가의 눈높이에서 해당 작목별 기상위험을 쉽게 설명하고, 예상되는 재해의 회피-경감 방안, 피해를 입었을 경우 복구에 필요한 관리정보까지 종합적으로 제공하는 '수요자 맞춤형 위험관리 서비스'로 발상의 전환이 필요한 시점이다.

(재)국가농림기상센터에서는 기상청에서 제공하는 기본정보만으로 복잡지형의 국지기상실황을 30~270m 해상도로 상세하게 복원해내는 소기후모의기술을 소유역($50km^2$) 규모에 적용하고, 유역 내 자원농가를 대상으로 맞춤형 농업기상정보를 제공하는 실증연구를 3년째 수행해 왔는데, 이 연구를 통해 기상실황 상세화기술의 개발은 물론, 일부 작물(배, 복숭아 등)에서 발육단계를 감안한 '상대위험지수'가 개발되었고 작목-기상요소 조합별로 계산방법도 준비되었다. 이에 따라 기상청 기본정보의 수집, 농업기상정보의 생산, 해당 필지 재배농가 배포 등 개별농가 수준의 기상위험 관리를 위한 서비스를 설계하였고 이를 연구대상지역 내 230개 농가 및 400개 필지를 대상으로 하는 프로토타입 시스템으로 구현하였다. 이 강좌에서는 연구를 통해 얻은 경험과 성과를 소개함으로써 향후 농업부문의 기상이변 대응 조기경보서비스의 구축에 기여하고자 한다.

본 사업은 기상실황 및 예보의 경관규모(landscape scale) 추정기술 개발, 시범 집수역 내 필지별 경과기상 및 예보에 근거한 작목 맞춤형 기상위험 산정, 지식체계 기반의 농가 맞춤형 위험관리지침 작성, 위험관리시스템 구성요소 통합, 그리고 자원농가 대상의 시범서비스 실시 등 총 5개 세부사업으로 구성된다. 먼저 경관규모 기상실황 추정을 위해 기상청 방재기상 및 동네예보 출력물(5km 해상도 기온, 강수, 바람, 습도)을 농경지 규모(30~270m 해상도) 국지정보로 상세화 할 수 있는 '집수역 단위' 소기후모형을 개발하였고 5 × 5 km 격자 2개로 이루어진 시범 집수역(경남 하동군 악양면)에 14대의 무인기상관측장비(Automated Weather Station, AWS)를 설치하여 모형 출력물의 신뢰도를 정밀하게 검증하였다. 기상위험지수 산정의 일환으로 유효강수와 토양잔류수분에 근거한 농업가뭄지수를 필지단위로 적용하였으며, 배, 감, 녹차, 매실 등 시범지역 특산물의 발육단계별, 기상요소별 위험지수를 농장/과원 단위로 산출하였다. 위험관리지침 작성을 위해 전국의 농업진흥기관에서 발간한 다양한 기상재해 대응지침을 표준양식에 맞게 정리하였고, 기상청 종관기상자료로부터 시범지역 집수역 내 국지기상 실황 및 예보자료로 변환하는 모듈, 국지기상 실황자료로부터 필지 맞춤형 기상위험지수 산출 및 특보발령과정을 연결하고 자동화 하였다. 이 시스템을 시범지역에 설치하여 자원농가 및 지자체에서 실시간으로 서비스를 체험할 수 있도록 하였다.

II. 기상실황 상세화기술 확립

기상청에서 최종수요자에게 제공하는 종관 내지 중규모 기상자료를 경관규모로 상세화하는 기술은 공간정보기술을 바탕으로 하며, 여러 가지 이유로 인해 그 적용범위가 단일 집수역으로 제한된다. 따라서 기술적용은 물론 최종산출물의 신뢰도 검증을 위해 반드시 시험집수역을 선정해야 하며, 이 집수역을 관할하는 행정기관의 협조를 받아야 사업추진이 원활하다. 과거의 통치단위는 대개 자연 집수역을 기초로 경계가 획정되었지만, 지금의 행정구역은 시민자치의 편의를 위해 인위적으로 정해져서 집수역과 행정구역을 일치시키는 일이 쉽지 않다. 경남 하동군 악양면은 단일집수역으로 이루어진 행정단위로서 지형기복, 영농속성, 기후특성 등의 농업기상측면의 다양성이 사업추진에 적합한 곳이라 시범지역으로 선정되었다.

이곳을 대상으로 가용자원을 총동원하여 기온, 바람, 일사, 강수 등 영농에 중요한 기상요소의 분포를 필지별 구분이 가능한 정도의 고해상도로 제작하고 그 실용성을 실측자료에 의해 검증하였다. 시범지역 검증관측망은 14대의 국산 AWS로 구성된다. 이 장비는 설치장소에 특별한 제약이 없고, 기존의 수입 고가장비에 비해 뒤떨어지지 않는 신뢰도를 인정받아 국지기상 검증용으로 널리 보급된 국내산 제품이다. 특히 센서 및 자료수집장치의 전력소모가 적어 태양광전지를 통한 전원공급만으로 안정적인 운영이 가능하다. 기본적으로 1분 간격 측정 및 내장메모리 저장, 10분 간격 CDMA (Code Division Multiple Access) 방식 송수신에 의해 지점별 기상데이터가 AWS 서버로 수집된다.

기상관측장비의 구성은 3m 고정형의 기상타워에 기온, 습도, 일사량, 강수량, 풍속, 풍향 등 총 6종류의 센서가 설치되며, 악양면에 설치된 14기 중 3곳의 AWS에는 토양수분센서가 추가로 포함된다. 기상타워의 중간 부분에는 기상자료 수집용 데이터로거(Model STL08/X16, STA Inc., Korea)가 부착되며, 자료를 송수신하는 CDMA 모뎀, 태양광 패널과 연결된 충전배터리가 함께 미니백엽상(통풍차광상자) 안에 들어있다. 데이터로거의 온도측정 가능범위는 -40~80ºC 내로써 데이터 측정간격이 1초~1일까지 설정이 가능하도록 되어있으며 지온, 토양수분, 일사, 풍향 센서를 아날로그 형태로, 풍속과 강우량을 디지털 채널로 입력 받는 특징을 가진다.

2.1. 기온분포 상세화

기상청이 방재기상감시 및 동네예보를 통해 제공하는 5km 격자 단위 0600(일 최저) 및 1400(일 최고) 기온자료를 각각 냉기효과-온난대모형 및 과열지수모형(특허등록 10-0925878, 10-1257874, 10-2012-154298, 10-1055290, 10-1040621; 특허출원 10-2008-0013499, 10-2008-0013500)에 입력하여 집수역의 지형 및 지표특성이 반영된 30m 격자값으로 상세화 하였다(Fig. 1A). 2011년 7월부터 2013년 6월까지 2년 간 14개 검증지점에서의 RMSE는 각각 일 최저기온 1.5ºC, 최고기온 1.3ºC이었다.

중기예보의 경우 기상청에서 하루 2회 발표하는 전국 기상관서 20개 지점의 최고, 최저기온 자료를 기반으로 지점별 평년 대비 편차를 얻고 이들의 공간내삽에 의해 편차분포도를 만들었다. 시범지역 인근 6개 기상관서 평년값 기반 배경기온에 주간예보 편차를 더하여 주간예보 배경기온을 제작하고, 이를 소기후 모형에 적용하여 최종 30m 격자 해상도의 주간예보 상세분포도를 제작하였다.

2.2. 바람 분포 상세화

중규모 바람벡터자료(5 × 5 km)로부터 270 × 270 m 분해능의 상세 바람장을 실시간으로 생성하는 데 사용된 도구는 WindStation 이다(Lopes, 2003). 모형입력용 지표풍속은 기상청 자동기상관측망 중 화개(906), 하동(932) 지점자료를 사용했으며, 경계층 풍속은 광주 고층월보의 925hPa 풍속을 이용하였다. 모의된 풍향 및 풍속은 타 공간자료와 중첩 및 통합연산을 쉽게 하기 위해서, 해발고도 2m에 대한 결과물을 텍스트 형태(.dat)로 출력하여 격자별 X, Y 위치에 따라 재배열한 격자형 자료로 변환하였다. Fig. 1B는 격자형 풍속을 구간별 색상으로 표현하고, 풍향 격자값(integer)을 ArcGIS (ESRI Inc., USA)의 point shapefile로 변환하여 방향성을 가진 기호로 나타낸 것이다.

2.3. 강수량 분포 상세화

기상청에서 제공하는 강수 실황 혹은 예보로부터 농업부문에서 활용 가능한 수준의 상세한 강수분포도를 제작하기 위한 방안으로서, 레이더 반사강도를 KLAPS 5km 강수자료에 적용하여 1km 격자해상도로 상세화 하는 1단계와, 고해상도 DEM에 근거한 지표면 경사방향(지향면)에 따라 고도 - 강수량 회귀계수를

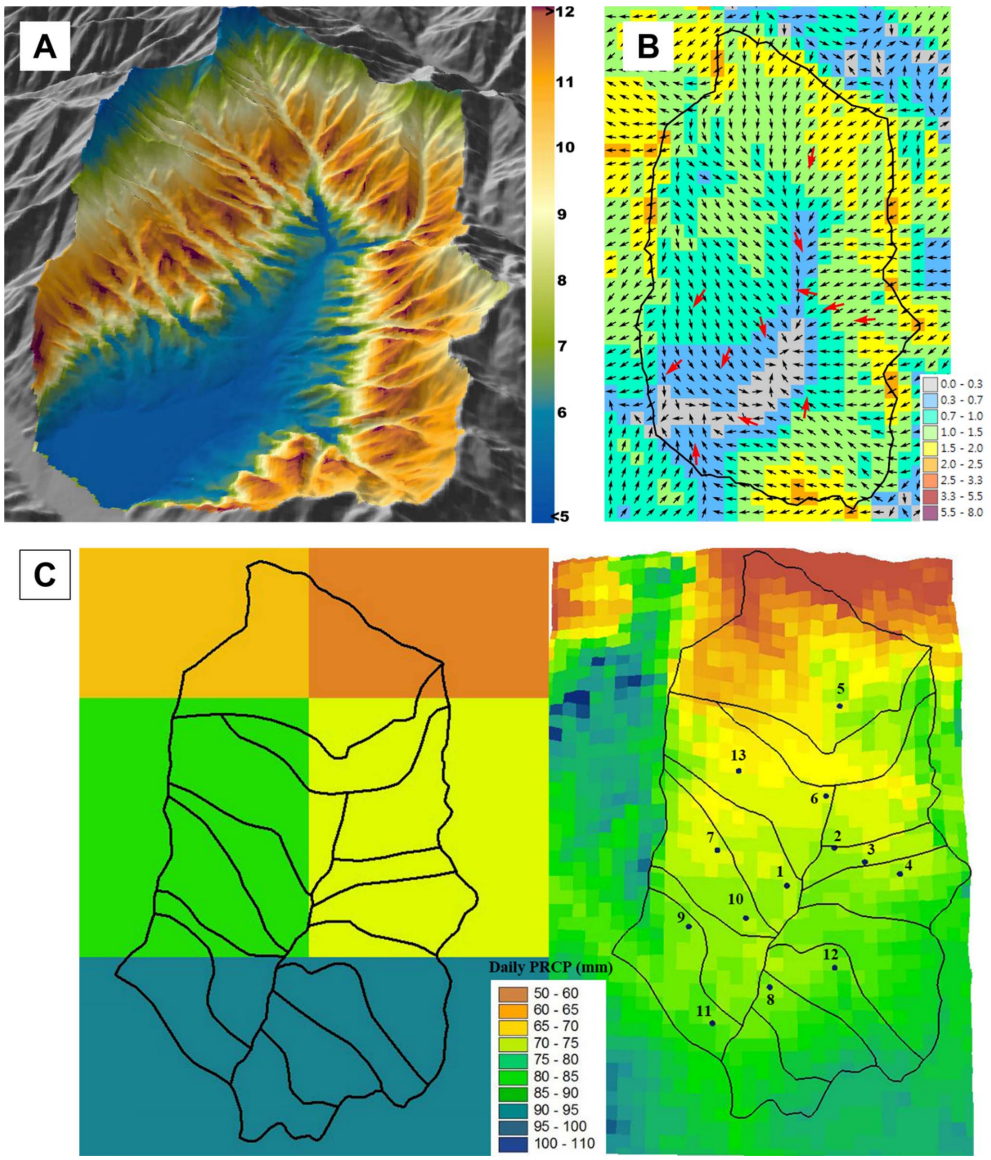

Fig. 1. Higher resolution weather reanalysis products for temperature (A), wind (B), and rainfall (C) over the study area. The KMA rainfall grid (5 × 5 km) is shown for comparison in C.

달리하여 지형효과를 반영하는 2단계 등으로 이루어진 추정기법을 고안하였다(특허출원 10-2013-159888). 2013년 1월부터 5월까지 총 19사례의 강수에 대해 기상청으로부터 수집한 시범지역 KLAPS 강수자료를 24시간 적산 레이더에코 자료에 의해 1km 해상도로 변환하였다. 다음에는 1km 격자점의 값을 가상의 관측자료로 삼아 270m 해상도에서 PRISM 기반의 지형효과를 반영한 강수량 분포도를 생성하였다(Fig. 1C). 이 지역에 설치된 AWS 실측자료와 추정된 강수분포도의 해당 격자점 자료를 추출하여 비교한 결과 일 강수량 10mm 이상의 사례에서는 모든 관측지점에서 추정오차 감소효과가 인정되었으며, 특히 일강수량이 30mm 이상인 사례에서 평균 35% 이상의 오차감소효과를 확인하였다.

2.4. 일사량 분포 상세화

일사량자료는 자동기상관측망은 물론 종관기상대 중에서도 일부(약 20개)에서만 수집 가능하므로 실황분포

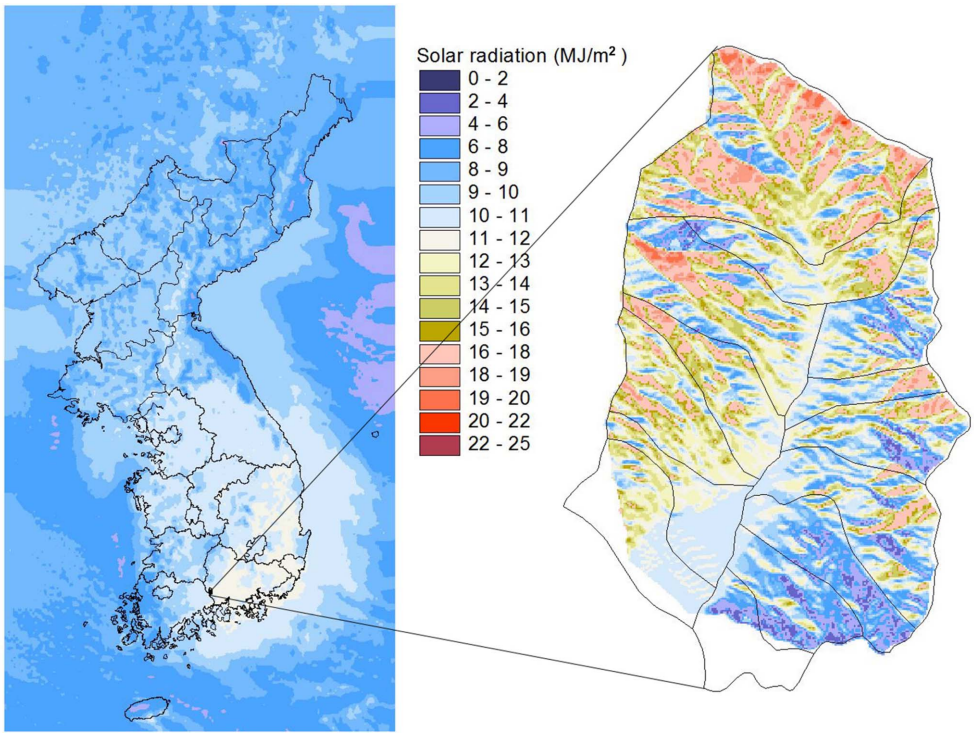

Fig. 2. Daily solar irradiance at a 30 × 30 m cell spacing over the study area (left) estimated from the COMS satellite image (left) on 31 December 2012.

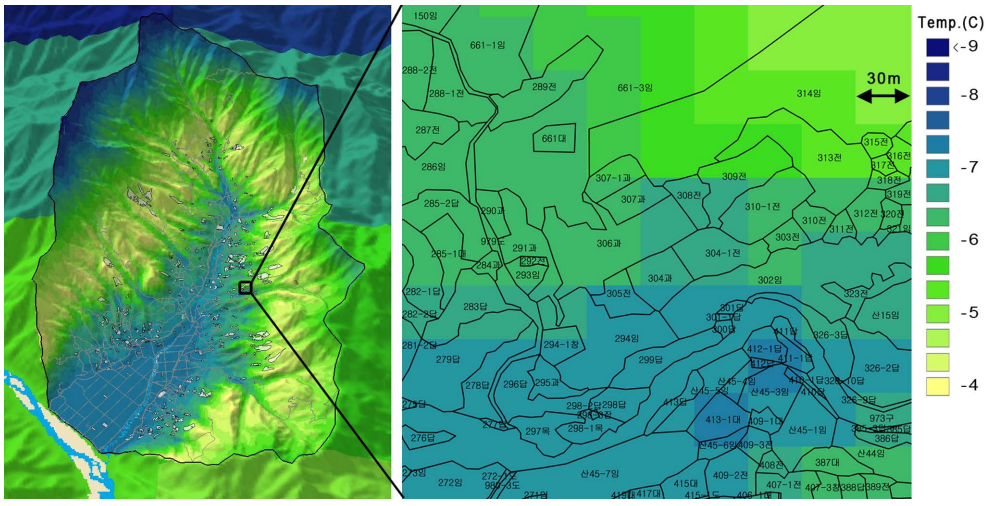

Fig. 3. Farm and orchard boundaries overlaid on the fine resolution temperature map.

도를 제작하는 데 부적합하다. 본 사업에서는 국가기상위성센터에서 제공하는 천리안 위성(Communication, Ocean and Meteorological Satellite, COMS) MI (Meteorological Imager) 자료를 바탕으로 실황분포를 제작하였다. 천리안 위성자료 중 15분 간격의 표면도달일사량을 연속 수집하여 남한전역의 일간 적산값 분포로 변환하고, 시범지역에서 가장 가까운 일사관측기상대인 진주기상대 실측 적산일사량과 해당 지점의 위

성일사량 간 편차를 구했다. 이를 시범지역(악양) 위성일사량에 적용함으로써 우선 '배경일사량'(수평면 전천일사)을 계산하였다. 이 배경일사량에 복잡지형 일사수광량 추정모형(Yun, 2009)에서 제시한 일사수광비율(수평면일사량에 대한 경사면일사량의 비율)을 적용하여 최종 분포도를 30m 격자해상도로 산출하였다(Fig. 2).

2.5. 필지단위 기상정보 생산

공간해상도 30~270m로 제작된 실황기상도 위에 지적도를 중첩시키면 해당 과원이나 논밭의 기상정보를 추출할 수 있다. 농지의 규모는 최소 1단보(300평 = 약 1,000m^2) 이상이므로 웬만한 과원이나 농장이라면 30 × 30 m 화소의 값을 여러 개 포함한다. 이 경우 토지경계에 걸치는 기상도 화소들의 공간평균을 구해 해당 농장인 과원의 대푯값으로 간주하였다(Fig. 3).

III. 기상위험의 필지별 산정기술 개발

영농현장의 기상위험(weather risk)이란 저온, 고온, 과우, 다우, 다습, 건조, 강풍 등 평년평균으로부터 표준편차 2배 범위를 벗어나는 날씨로 인한 농작물의 잠재적 피해위험을 일컫는다. 물론 농작물도 태풍, 토네이도, 쓰나미, 집중호우 등에 의해 큰 피해를 입지만 이들처럼 영향권 내 생물, 비생물에 무차별적인 피해를 입히는 소위 '악기상'(severe weather)에 대해서는 농업부문에 특화된 관리대책을 요구하기 어려워 정부 내 관리주체가 안전행정부-소방방재청으로서 지정되어 있다. 본 사업에서 추구하는 위험관리서비스에서는 '악기상'에 의한 산사태, 홍수 등 대규모 급발성 자연재해보다는 통상적인 기압계 조건에서 필지단위 기상위험을 미리 파악하여 이곳에서 생육중인 농작물의 동상해, 냉해, 가뭄해, 습해, 풍해를 경감하기 위한 방안을 농민에게 제시하는 것을 주된 목적으로 한다.

3.1. 저온피해 위험지수

포도 'Campbell Early' 품종의 동해위험지수 산정에는 일 최저기온(T_{min})과 휴면심도(C_d)에 따라 동해확률을 추정할 수 있는 Chung *et al.*(2008)의 방법을 활용하였다.

$$Risk(\%) = \frac{100}{1+50EXP(10+T_{\min})D_{cd}} \quad (1)$$

여기서 D_{cd}는 휴면심도에 근거한 내동성으로 다음 근사식으로 추정할 수 있다.

$$D_{cd} = 0.0011(|C_d| - 155)^2 + 0.25 \quad (2)$$

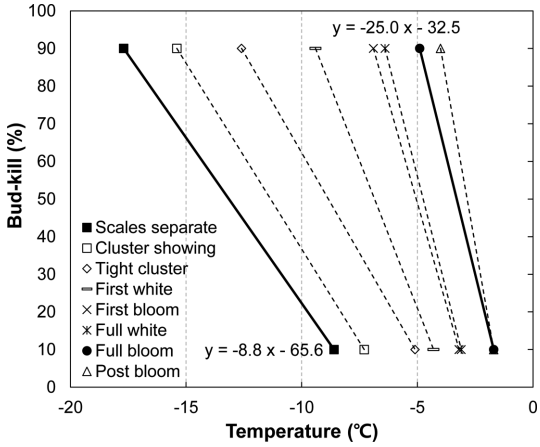

Fig. 4. Relationship between daily minimum temperature and bud-kill ratio at various phenological stages in a pear cultivar.

배 '신고' 품종의 동상해 위험지수 산정을 위해서는 Westwood(1992)가 제시한 발육단계별 꽃눈의 10%가 동사하는 온도와 꽃눈의 90%가 동사하는 온도를 이용하여 발아시기(식 3) 및 만개시기(식 4)의 최저기온(T_{min})과 동사율(%) 간 관계식을 도출하였다(Fig. 4).

$$Risk_b = -8.8T_{\min} - 65.6 \quad (3)$$

$$Risk_f = -25T_{\min} - 32.5 \quad (4)$$

배 꽃눈의 발아와 만개기 사이의 단계별 피해정도를 모의하기 위해 먼저 매일의 기온에 의해 발육지수(*DVS*)를 추정하였다(Han *et al.*, 2010). 발아기지수(DVS_b)와 만개기지수(DVS_f) 및 당일의 발육단계 *DVS*와 식 (3), (4)에 의하여 매일의 피해율(%)을 추정하였다(식 5).

$$Risk(\%) = Risk_b + (Risk_f - Risk_b) \times \frac{DVS - DVS_b}{DVS_f - DVS_b} \quad (5)$$

이 밖에 악양면의 특산물인 매실의 동상해위험지수를 산정하기 위해 휴면기 동해유발온도(-20°C), 개화기 저온 한계온도(-8°C), 미숙과 시기 한계온도(-4°C)를 기준온도로 삼아 기준온도 이하 조건을 '경보'로, 기준온도에서 +3°C 까지를 '주의보' 발령조건으로 간주했다.

또한 인근 화개면과 함께 전국적인 명성을 가진 차

나무의 경우 하동녹차연구소에서 제시한 휴면기 동해온도(-10°C), 맹아 2주 전 저온 한계온도(-5°C), 맹아기 한계온도(-3°C), 1~2엽기 한계온도(-2°C)를 기준온도로 삼아 '경보'와 '주의보' 구간을 설정하였다.

악양지역은 맥주보리 주산지인데 월동기간 중 주간 엽수 5~6매일 때 경화가 잘 된 경우에 동사 한계온도가 -12°C이며 월동 후 재생기간 피해발생온도는 -2°C로, 이를 '경보' 기준온도로 설정하였다.

작목과 무관하게 필지별로 최저기온이 영하로 떨어질 것으로 예상되면 서리발생주의보를 내리는데, 봄철 서리는 물론 악양지역 특산품인 단감의 수확시기에 해당하는 가을철에 대해 서리피해경보를 발령한다.

3.2. 가뭄피해 위험지수

기존 가뭄지수들의 단점을 보완하여 우리나라 실정에 맞도록 개발된 EDI (Effective Drought Index)는 주어진 날로부터 1년 전 강수량까지 가중치를 둔 누적유효강수량(EP, Effective Precipitation)에 근거하는데, 당해연도 EP와 30년 평균 EP 간 편차를 표준화한 것이다(Byun and Wilhite, 1999). 하지만 과거 어느 시점까지의 강우가 지금 상태에 영향을 주는 지에 대한 해석이 어려우며 농작물의 생육과 직결되는 토양수분이 고려되지 않아 농업부문에 그대로 적용하기에는 어려움이 있었다. 문경환(2008)은 EDI를 기반으로 하되 지수 계산단위를 주 단위로 늘리고 2개월 동안 가중치를 두어 분배하였으며, 여기에 기준증발산을 추가함으로써 제주지역 농업가뭄 평가에 활용한 바 있다. 본 사업에서는 문경환(2008)의 농업가뭄지수 산정 과정에서 기준증발산 대신 작물의 종류 및 발육단계에 맞는 실제증발산을 적용하였다. 신뢰도를 평가하기 위해 악양지역 내 3개 지점에 토양수분 센서(EC-5, Decagon Devices, USA)를 설치하여 운영하였다.

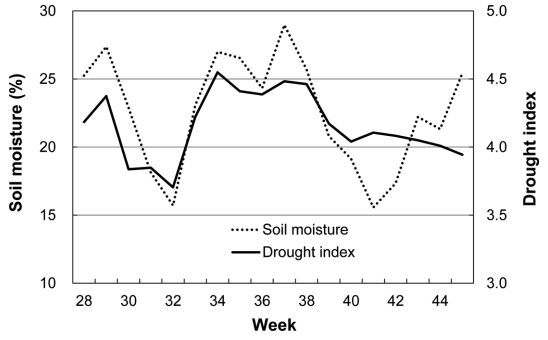

Fig. 5. Comparison of the calculated drought index and the measured soil water content averaged across 3 locations in the study area.

실제 적용 시 유효강수량에서 증발산량과 지면유출량을 제거함으로써 토양잔류수분을 추정하며 평년 기후자료에 의해 산출된 잔류수분 정규분포와 비교하여 상대적인 심각성(severity)을 정상-약-중-강 등 4단계로 나타내었다. 집수역 내 토양 잔류수분 분포도를 제작한 다음 3개 지점에서 실측 토양수분자료를 얻어 비교한 결과, Fig. 5와 같이 실용수준의 정확도를 확인할 수 있다.

3.3. 기타 기상위험 및 대응지침

강풍, 호우, 대설 등 아직까지 농업기상학적 위험지수 산정 및 대응기술이 미흡한 기상위험에 대해서는 기상청의 특보발령기준에 준하되 필지단위로 주의보나 경보를 발령토록 하였다. 또한 농촌진흥청의 농업기술종합정보를 참고하여 작목별 생육과정, 주요 농작업, 기상재해 및 예상되는 문제점 등을 필지속성정보와 결합할 수 있도록 하였다. 덧붙여 발생빈도가 높은 재해유형과 관련 작물별 사전/사후대책 정보를 수집하여 DB화 하였다.

IV. 기술 적용

4.1. 대상 지역

개발된 기술과 데이터베이스를 유기적으로 연결하고 안정화시켜 실제 영농현장에 기여할 수 있는 형태의 서비스시스템으로 구현하고자 하였다. 서비스 대상지역은 전술한 경남 하동군 악양면으로서 지리산 남쪽 기슭 두 개의 분수령에 의해 생성된 총 면적 52.7km^{2}의 분지이다. 이 분지의 한 가운데인 시루봉에서 발원한 악양천이 흘러 섬진강에 이르는데, 하류에는 산간지형에서 보기 드문 넓은 퇴적평야('무딤이들')를 만든다. 악양면의 해발고도는 최저 5m 고도의 무딤이들에서부터 1,100m 이상의 형제봉 주변 산악지대까지 다양하게 분포하며 평균고도는 353m이다. 토지피복은 약 200m 고도를 기준으로 아래쪽으로는 논과 밭이 많이 분포하고, 위쪽으로는 대부분 산림의 형태로 이용되고 있다. 악양면의 토성은 양토가 47.6%로 가장 흔하고, 사양토(30.3%), 미사질양토(19.3%) 순이다. 재배되는 작물은 단감, 대봉감, 매실, 녹차, 벼, 맥

주보리 등이며 임산물로는 밤이 유명하다. 악양천을 중심으로 완만하던 경사도는 고도가 높아짐에 따라 함께 커지게 되는데, 과수원이 많이 분포한 중간사면의 경사도는 11~30° 수준이며, 고도가 높아질수록 40° 이상의 급경사가 많아진다. 경사향은 악양천을 따라 오른편으로는 북향사면, 왼편에 위치한 마을들은 남향사면으로 나타난다.

악양면 내에 기상관서나 자동기상관측소는 없으며 가장 가까운 기상관서로는 진주, 산청, 남원, 순천, 남해 등을 꼽을 수 있다. 한국기후도로부터 최근 30년(1981-2010)동안 악양의 기후를 추정해보면, 연 평균기온은 12~14°C로 전형적인 온대기후이며 적산강수량은 1,500~1,600mm 수준으로 다우지역에 속한다. 14개 AWS로부터 수집된 자료와 소기후모형에 의해 추정한 결과, 악양면 집수역을 30m 격자점으로 표현하면 총 54,500개가 되는데 이들 격자점 가운데 연 평균기온이 가장 높은 지점의 온도는 13.8°C로, 주로 무딤이들 주변 및 산중턱 부분이 상대적으로 온도가 높고, 해발고도가 높아질수록 기온이 낮아져 최저 6.4°C를 보인다. 일 최저기온은 해발고도 200~400m 부근에서 상대적으로 높게 나타나는 반면, 무딤이들 중심의 저지대에서는 낮은 분포를 보인다. 오전 중에는 동향사면이 햇빛을 많이 받는 반면 오후에는 서향사면의 일조시간이 길어진다. 한국기후도로부터 추정된 악양면의 평년 연 적산일사량은 약 5,000MJ/m^{2}이지만 지형효과를 감안하여 계산된 수광량은 지역적으로 차이가 크게 났는데, 평탄지인 무딤이들의 연간 수광량만 한국기후도 평균값과 비슷한 수준일 뿐, 북향사면에서는 수광량이 적고 남향사면에서는 최대 1.2배 더 많은 태양에너지를 받는다(국가농림기상센터, 2013).

지역 내 농가 가운데 약 15%에 해당하는 230농가(필지 400개)를 본 사업의 자원농가(volunteers)로 선정하여 각 필지별 영농속성을 수집하고 지적도와 연계된 공간데이터베이스를 구축하였다. 이들 농가는 시범서비스의 수혜자로서 자신만의 맞춤형 농업기상정보를 받아보게 된다.

4.2. 서비스시스템

악양지역 농가맞춤형 기상서비스의 정보흐름은 Fig. 6과 같다. 먼저 기상청에서 제공받은 예보, 분석, 관측자료를 규모축소기술에 의해 30~270m 해상도의 상세

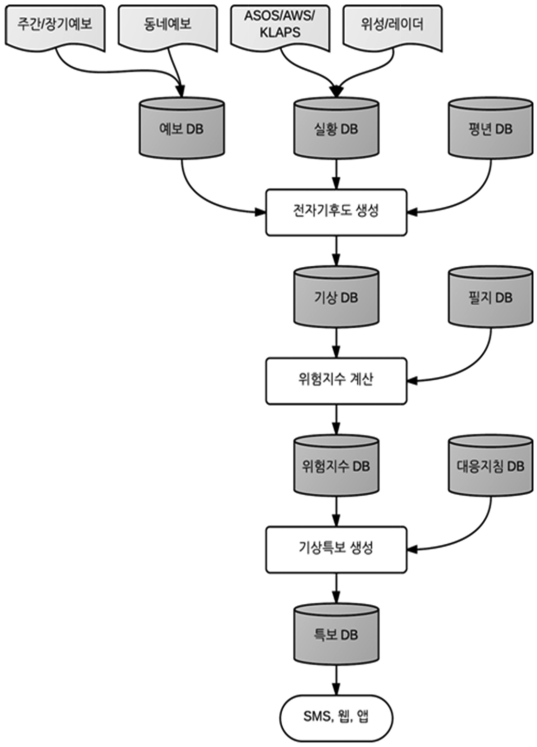

Fig. 6. Information flow among main procedures constituting the user-specific agrometeorological service (CUSTARD).

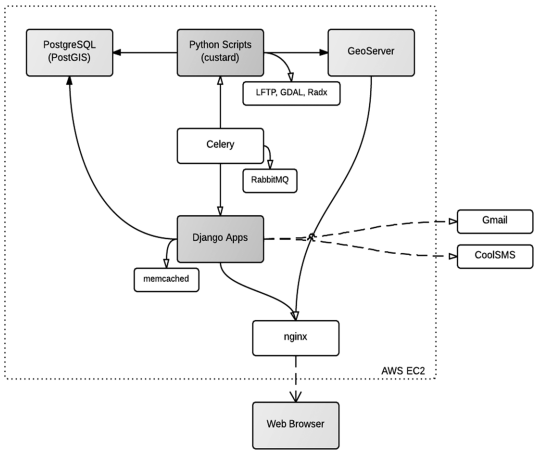

Fig. 7. ICT tools and programming languages used to implement the user-specific agrometeorological service (CUSTARD).

전자기후도로 변환한다. 미리 준비된 필지속성(작물, 품종, 재배이력)과 해당 필지의 기상속성에 의해 맞춤형 기상위험지수가 계산되어 관련 대응지침과 함께 특보편집에 이용되고 최종적으로 웹GIS 및 휴대폰 문자로 해당 농가에게 전달된다.

이 서비스가 실제 가능한 것은 다양한 독립 시스템들이 Fig. 7과 같은 구조로 서로 연결되고 통합되어 있기 때문이다. 각 시스템에 대한 간단한 설명은 다음과 같다.

• **Python Scripts:** 기상자료의 수집/변환/가공 알고리즘은 Python으로 구현하였다. 기상청에서 제공하는 AWS/종관 실황 및 예보 텍스트 자료에서부터 동네예보 GRIB, KLAPS 그리드, 레이더 에코, 천리안위성 영상, WindStation 자료까지 다양한 형태의 자료를 처리할 수 있다. 최종적으로는 일별 GeoTiff 래스터로 변환하여 GeoServer에 등록하는 것이 주목적이며, 일부 실황 자료들은 PostgreSQL 서버에 벡터 테이블로 저장하여 후처리과정에 사용하기도 한다.

• **GeoServer:** 공간정보를 관리하는 저장소라고 볼

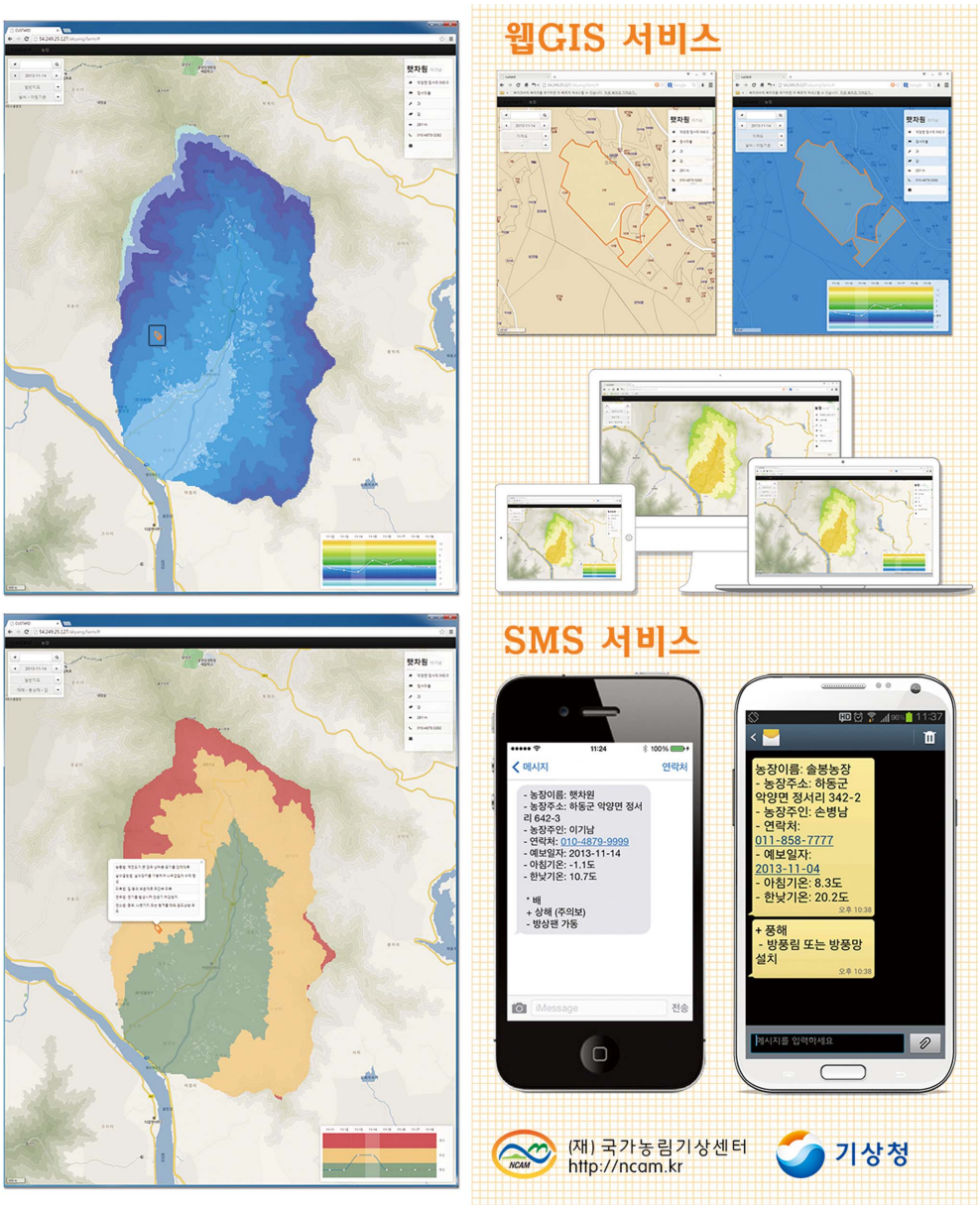

Fig. 8. Screen shots of the web-GIS based information service (top) and the smart phone based message delivery service (bottom).

수 있으며, OGC 표준 API를 통해 유연한 접근이 가능하다. 본 프로젝트에서는 주로 래스터 자료의 저장과 지도 생성을 목적으로 사용하고 있다. 각 기상/재해요소는 1개의 레이어를 구성하며, 종류에 따라 시간별/고도별로 접근이 가능하다. 전자기후도 및 위험지수 모의시에는 해상도나 영역 범위가 다른 입력 자료들이 필요한 경우가 많은데, WCS API를 통해 별도의 변환과정 없이 쉽게 가져올 수 있다. 이렇게 저장된 레이어들을 웹 GIS 서비스상의 지도로 표출할 때에는 WMS API가 사용된다. Java 기반으로 Apache Tomcat 상에서 구동된다.

● **PostgreSQL:** 범용 RDBMS이며, 여기에 PostGIS 확장팩을 설치하면 공간정보의 처리가 가능하다. GeoTiff 래스터로 관리하기 어려운 관측소별/농가별 기상자료를 벡터 형태로 관리한다. 참고로 GeoServer에서 PostGIS 테이블을 연결하여 벡터 레이어에 대한 접근을 제공할 수도 있으나, 본 프로젝트에서는 Django ORM이나 Psycopg를 이용한 직접 접근으로 처리하였다. PostGIS 특유의 공간 연산도 거의 활용하지는 않았다.

● **Django Apps:** Python 기반 웹 프레임워크이다. 본 프로젝트에서는 관측소별/농가별 벡터 자료를 관리하고, 작물별 위험지수에 따른 대응지침 추출 등의 로직을 구현하기 위해 사용하였다. 웹 서비스의 UI 관련 부분은 클라이언트 상에서 거의 웹앱 형태로 구현이 되었기 때문에 템플릿 엔진에 대한 의존도가 높지는 않다. 농가 정보나 차트 등 필요한 값을 JSON 형태로 넘겨주는 REST API 서버의 구현이 목적이라고 볼 수 있다. 관측소별 기상자료를 저장하는 station, 농가별 정보를 처리하는 farm, 작물별 위험지수를 저장하는 risk, 대응지침을 관리하는 advice 등의 앱으로 구성되어 있으며, 동일한 자료 요청시 반응속도를 높이기 위해 memcached 기반의 캐쉬를 사용한다.

● **Notification:** 기상위험에 대한 주의보/경보 발생시 특보를 전달하거나 평소 기상정보를 안내하기 위해 이메일 혹은 휴대폰 문자(SMS/LMS)를 발송할 수 있다. 이메일은 전용 Gmail 계정(peri.ksafm@gmail.com)을 연동해놓았으며, 문자 발송 시에는 CoolSMS에 요금을 충전하여 사용한다.

● **Celery:** 메시지 기반의 작업관리자이다. 매 시간 자료를 수집하고, 특정 시각에 메일을 발송하는 등의 작업을 위해 Celery의 Periodic Tasks를 활용한다. OS 수준의 cron 대신이라고 보면 되겠다. 내부적으로는 메시지 큐잉을 위해 RabbitMQ를 백엔드로 사용하며, Django의 manage.py celery 를 통해 관리하고 있다.

● **Nginx:** 경량 웹 서버로써, URL 주소에 따라 Django와 GeoServer 서비스를 연결해주는 reverse proxy 역할을 수행한다. 특히 JavaScript나 CSS 등 매번 바뀌지 않는 파일을 효과적으로 전송할 수 있다. 이를 위해 Django의 manage.py collectstatic을 사용한다.

● **Web Browser:** 웹 GIS 서비스를 사용하기 위해서는 웹 브라우저로 접속해야 한다. 기본적으로 WebKit 기반의 Chrome과 Safari를 기준으로 개발하였으며, Internet Explorer는 버전 10을 기준으로 큰 문제가 없음을 확인하였다. 해상도만 적당(1024 × 768)하다면 아이패드나 넥서스7 등의 태블릿에서도 이용이 가능하다. 스마트폰에서는 화면 구성이 잘리는 관계로 정상적인 이용이 쉽지 않다. Fig. 8은 웹 GIS 및 휴대폰 문자서비스 사례화면이며, 웹 GIS 초기화면은 http://54.249.25.127/farm/에서 확인할 수 있다.

V. 고 찰

기후스마트농업이라는 세계적인 기후변화 대응전략이 수립되고 이 전략을 구체화 하기 위한 지역 혹은 국가단위 사업을 계획하고 있지만(http://www.fao.org/climatechange/climatesmart/en/, http://www.climatesmartagriculture.org/en/), 개별 농가 입장에서 기후변화 적응기술로 가장 현실성이 높은 것은 기상이변에 미리 대처할 수 있도록 도와주는 기상서비스이다. 농업인들은 기후변화에 따른 영향을 줄이기 위해 어떤 정책적 지원이 필요하다고 느낄까? 농촌경제연구원이 2013년 9월 3일~10일까지 518명을 대상으로 온라인 설문조사를 실시한 결과 장기적 영농환경개선, 농가경영 안전장치 강화, 재해복구 지원, 친환경 직불제, 작목전환 지원 순으로 답했다. 모두들 정부 혹은 지자체의 재정지원을 희망한다는 답변인데, 이들 다음으로 '원활한 기후관련 통계 및 정보 제공'이 뒤를 이었다고 한다(http://www.sciencetimes.co.kr, 2013년 10월 2일). 농가수준에서 기상재해에 빠르게 대처할 수 있도록 정확한 기상정보시스템이 마련되기를 원하는 것이다.

본 사업에서 추구하는 농가맞춤형 기상서비스는 이러한 영농현장의 수요에 능동적으로 부응하기 위한 것

이다. 농업은 그 어떤 산업보다도 기후변화의 영향을 조기에, 직접적으로, 가장 심각하게 받을 것으로 예견되는 분야이다. 비록 작은 집수역(행정구역 상 1개 면)에 불과하지만, 이번 사업을 통해 가용기술을 동원하고 개선하면 다른 어떤 분야보다도 선도적으로 기후변화에 대처할 수 있는 서비스가 가능하다는 것을 알게 되었다.

개별 필지를 대상으로 하는 조기경보서비스와 이를 바탕으로 하는 기상위험 관리체계는 위치기반서비스(LBS)의 응용사례 가운데 농업-기상-ICT 간 융합에 의한 실용화의 첫 사례라 할 것이다. 또한 소기후모형은 당초 장기간 평균기후자료의 상세 동화(assimilation)에 유용한 도구로 쓰였지만, 신기술에 의한 보완을 통해 기상실황분포 추정에도 충분히 활용할 수 있음을 입증하였다. 단순한 위험경보를 넘어 기존 농업부문 재해대책을 총정리하고 상황별 위험관리 과정에서 기상위험특보와 관련 지식체계를 연계함으로써 서비스로서의 실용성을 확보한 점도 새로운 진전이었다. 궁극적으로 개별 농가의 영농의사결정에 과학적 근거를 제공하고 날씨에 따른 불확실성을 감소시키는 중요한 역할이 기대된다.

하지만 확립된 기상위험관리서비스 프로토타입을 개선, 발전시켜 시범지역 외 전국으로 확장해야만 국가적인 기후스마트농업 지원이 가능하며 당초 이 서비스를 통해 기대했던 재해비용 감소효과를 극대화 할 수 있을 것이다. 전국서비스를 위해서는 지역 및 작목에 따라 최적 시스템을 효율적으로 구축하기 위한 후속사업이 반드시 필요하며, 기상위험 조기경보서비스를 농업부문의 기후변화 적응을 위한 기반으로 인식하고 지속적으로 발전, 보급시킬 것을 제안한다.

적 요

재단법인 국가농림기상센터는 지난 3년간 기상청의 재정지원으로 기후스마트농업의 전제조건인 개별농장 수준의 기상위험 관리서비스를 설계하였다. 이 서비스는 기존 기상청 관측 및 예보시스템 외에 추가적인 자원소모 없이 해당 농지에 주어진 기상조건을 재배중인 작물의 종류와 그 발육단계에 맞게 '기상위험지수'로 정량화하고, 이를 평년기준과 비교하여 재해발생 가능성을 농민에게 일대일로 전달한다. 서비스 실용화에 필요한 기상실황 및 예보의 경관규모 추정기술, 시범 집수역 내 필지별 경과기상 및 예보에 근거한 작목 맞춤형 기상위험 산정기술을 개발하고, 이들 기술의 통합 및 시스템화를 완료하였다. 단일 집수역인 경남 하동군 악양면을 선정하여 이 시스템을 설치하고 230농가 400필지를 대상으로 시범서비스를 구현하였다. 이 과정에서 얻어진 경험을 공유함으로써 향후 농업부문의 기상이변 대응 조기경보서비스 구축에 기여하고자 한다.

감사의 글

이 연구는 기상청 '기상산업 지원 및 활용기술개발사업'(과제번호 KMIPA 2011-1101)의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

REFERENCES

Byun, H. R., and D. A. Wilhite, 1999: Objective quantification of drought severity and duration. *Journal of Climate* **12**, 2747-2756.

Chung, U., S. O. Kim, and J. I. Yun, 2008: Plant hardiness zone mapping based on a combined risk analysis using dormancy depth index and low temperature extremes – a case study with "Campbell Early" grapevine. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **10**, 121-131. (In Korean with English abstract)

Han, J. H., K. S. Cho, J. J. Choi, H. S. Hwang, C. G. Kim, and T. C. Kim, 2010: Estimation of changes in full bloom date of 'Niitaka' pear tree with global warming. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, **28**(6), 937-941. (In Korean with English abstract)

Lopes, A. M. G., 2003: WindStation - a software for the simulation of atmospheric flows over complex topography. *Environmental Modelling & Software* **18**, 81-96.

Westwood, M. V., 1992: Temperate-zone pomology physiology and culture (3rd Ed.), Timber Press. pp523.

Yun, J. I., 2009: A simple method using a topography correction coefficient for estimating daily distribution of solar irradiance in complex terrain. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **11**(1), 13-18. (In Korean with English abstract)

Yun, J. I., 2010: Agroclimatic maps augmented by a GIS technology. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **12**, 63-73. (In Korean with English abstract)

국가농림기상센터, 2013: 악양의 기후(ISBN 978-89-268-4669-8).

기상청, 2012: 기후변화 적응을 위한 극한현상 및 재해위험 관리 (정부발간물등록번호 11-1360000-00858-14), IPCC 특별보고서번역본 (원본출처 http://www.ipcc.ch).

기상청, 2013: IPCC 제5차 평가보고서 기후변화과학 분야 요약 (원본출처 http://www.ipcc.ch).
문경환, 2008: 제주도 농업에 적합한 새로운 가뭄지수. *난지농업연구* **6**, 31-38.
특허등록 10-0925878, 냉기유입량이 일 최저기온에 미치는 영향의 정량화 방법.
특허등록 10-1257874, 폐쇄집수역의 일 최저기온 분포 추정방법, 특허등록 10-2012-154298, 냉기호지대 일 최저기온에 미치는 바람효과 정량화시스템 및 그 방법.
특허등록 10-1055290, 임의 경사면 상 일 적산일사량 추정방법.
특허등록 10-1040621, 미관측 경사면 상의 일 최고기온을 인근 기상대자료로부터 추정하는 방법.
특허출원 10-2008-0013499, 표고편차를 고려한 국지기온의 추정방법 및 그 추정시스템.
특허출원 10-2008-0013500, 도시열섬효과를 고려한 기온분포도 작성방법 및 그 작성시스템.
특허출원 10-2013-159888, 기상청 발표 강수량 실황 및 예측정보의 농산촌 경관규모 상세화 기술.
http://www.climatesmartagriculture.org/en/, 2013.12.9
http://www.fao.org/climatechange/climatesmart/en/, 2013. 12. 9.
http://www.sciencetimes.co.kr, 2013. 12. 9.